

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年5月15日 (15.05.2003)

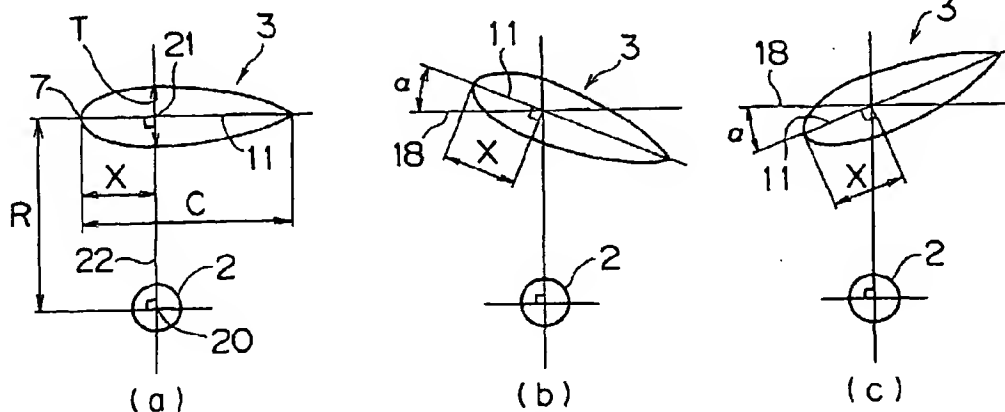
PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/040555 A1

- (51) 国際特許分類: F03D 3/06 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP02/11655 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 関 和 市
(22) 国際出願日: 2002年11月8日 (08.11.2002) (SEKI, Kazuichi) [JP/JP]; 〒259-1115 神奈川県 伊勢原
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 瀧野 秀雄, 外 (TAKINO, Hideo et al.); 〒
150-0013 東京都 渋谷区 恵比寿 2丁目 3番 13号
(26) 国際公開の言語: 日本語 広尾 SKビル 4階 Tokyo (JP).
(30) 優先権データ: 特願2001-342925 2001年11月8日 (08.11.2001) JP
特願2001-397075 2001年12月27日 (27.12.2001) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 学校法
人東海大学 (TOKAI UNIVERSITY EDUCATIONAL
SYSTEM) [JP/JP]; 〒151-0063 東京都 渋谷区 富ヶ谷
二丁目 2番 4号 Tokyo (JP).
(81) 指定国 (国内): CN, IN, US, VN.
添付公開書類:
— 国際調査報告書
2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: STRAIGHT WING TYPE WIND AND WATER TURBINE

(54) 発明の名称: 直線翼型風水車



(57) Abstract: A straight wing type wind and water turbine capable of properly determining a solidity, a mounting angle, and a wing thickness in consideration of the efficiency, self-startability, and noise of the wind and water turbine, comprising two-dimensional wing type straight wings (3) disposed parallel with the axis of the wheel, wherein, when a virtual line is drawn from the axis of the wing to the wing chord line of the straight wing so as to be orthogonal to each other and an angle obtained by rotating the straight wing around an intersection (21) is taken as a mounting angle α , the mounting angle is set within the range of $+3$ to -2° , when the ratio of a distance X between the leading edge (7) of the straight wing (3) and the intersection to the wing chord length C is taken as the mounting position, the mounting position is set within the range of 15 to 40 %, and where a distance between the axis and the straight wing (3) is a radius R, the wing chord length of the straight wing is C, and the number of wings is N, NC/R is set within the range of 0.5 to 2.2, the ratio of the maximum wing thickness T to the wing chord length of the straight wing is set within the range of 15 to 25 %, and the maximum wing thickness of the supporting wing to the wing chord length is 15 to 20 %, and chevron parts of wing type in cross section are formed at the end parts of the straight wings.

[続葉有]



(57) 要約:

本発明は、風水車の効率や自己始動性、騒音等を考慮してソリディティ、取付角、翼厚等の適正化を図ることを目的としており、軸心と平行に配置された二次元翼型の直線翼 3 を備える直線翼型風水車で、軸心から直線翼の翼弦線に仮想線を直交させ、交点 21 を中心として直線翼を回転させた角度を取付角 α とした時、取付角が $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ の範囲で設定され、且つ、翼弦長 C に対する直線翼 3 の前縁 7 からこの交点までの距離 X の割合を取付位置とした時、取付位置が 15 ~ 40 % の範囲で設定され、且つ軸心から直線翼 3 までの距離を半径 R、直線翼の翼弦長を C、枚数を N とした時、 NC/R が 0.5 ~ 2.2 の範囲で設定され、且つ、直線翼の翼弦長に対する最大翼厚 T の割合が 15 ~ 25 % の範囲で設定される。支持翼の翼弦長に対する最大翼厚の割合は 15 ~ 20 % である。直線翼の端部に翼型断面の山状部が形成される。

明 細 書

直線翼型風水車

技術分野

本発明は、例えば垂直軸の周りに直線翼を配置して支持翼で軸側に連結した直線翼型風水車に関し、効率や自己始動性や騒音等を考慮して、ソリディティ、取付角、翼厚等の適正化を図ったものである。

背景技術

近年、省エネルギーや自然環境保護等の観点から風力発電や水力発電が見直されてきている。

風力発電について言えば、従来は、プロペラを用いた水平軸型の風車が主流であった。プロペラ式の風車は、自己始動性が高く、特別な起動装置が要らない反面、風向きに対する指向性があり、プロペラを風の方向に向けるための装置等が必要で、しかもプロペラの形状が複雑なために量産加工が難しいというように種々の欠点を有していた。

近年、プロペラ式の水平軸風車に対して、縦長のブレードを用いた垂直軸型の風車が採用されてきている。例えば、垂直な軸部の周りに複数本の円弧状の細長のブレードを有するダリウス型風車は有名である。

垂直軸風車は、風向きに対して無指向性であるために、風向きの変化する日本の風況に適しており、しかもブレードの形状が簡単で量産が容易であるといった種々の長所を有している。垂直軸風車の効率（出力係数）は何らプロペラ式の水平軸風車に劣るものではない。ここで効率とは、風のエネルギーに対する風車のなす仕事（トルク×回転速度）の割合である。なお、水力発電の場合は、水のエネルギーに対する風車のなす仕事の割合が効率となる。

しかしながら、従来の垂直軸風車にあつては、自己始動性が極めて低いために、起動用のモータやモータを制御する制御装置等、種々の設備が必要となり、簡単な形状のブレードを使用する割には装置が大型化・高コスト化するという問題

があった。また、高い効率（出力係数）を得るためには、翼型に工夫を凝らす等、種々の苦勞があった。また、回転時の風切り音が大きく、その対策も必要であった。これらの問題は風車に限らず、水車においても起こり得ることであった。

本発明は、上記した点に鑑み、主に垂直軸風水車として使用され、良好な効率（出力係数）を発揮することができる風水車で、自己始動性が高く、特別な起動装置が不要で、しかも回転音の静かな風水車を提供することを目的とする。

発明の開示

上記目的を達成するために、本発明の請求項 1 に係る直線翼型風水車は、軸心の周りで該軸心と平行に配置された二次元翼型の直線翼を備える直線翼型風水車において、該軸心から該直線翼の翼弦線に仮想線を直交させ、この交点を中心として該直線翼を回転させた角度を取付角とした時、該取付角が $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ の範囲で設定され、且つ、該軸心から該直線翼の翼弦線に仮想線を直交させ、翼弦長に対する該直線翼の前縁からこの交点までの距離の割合を取付位置とした時、該取付位置が $15 \sim 40\%$ の範囲で設定され、且つ、該軸心から該直線翼までの距離を半径 R 、該直線翼の翼弦長を C 、該直線翼の枚数を N とした時、 NC/R が $0.5 \sim 2.2$ の範囲で設定され、且つ、該直線翼の翼弦長に対する最大翼厚の割合が $15 \sim 25\%$ の範囲で設定されたことを特徴とする。

上記構成により、取付角 5° 以上では風水車の効率（出力係数）がゼロとなり、風水車として役に立たないが、取付角を $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ の範囲にすることで、少なくとも最大効率の半分程度以上の効率（出力係数）を発揮させることができ、回転時に良好な効率を得ることができる。また、取付位置を $15 \sim 40\%$ の範囲としたことで、効率は取付位置 25% に較べてやや低下するものの、良好に維持され、直線翼の頭下げモーメントにより、自己始動性が確保される。また、 NC/R （ソリディティすなわち回転面積比）が 0.5 以上で良好な自己始動性が発揮され、ソリディティ 2.2 を越えると効率（出力係数）が低下するから、 NC/R $0.5 \sim 2.2$ の範囲で始動性と効率とが確保される。また、直線翼の最大翼厚を $15 \sim 25\%$ としたことで、風水車の自己始動性が向上し、効率もアップし、強度も確保される。以上の如く、風水車の自己始動性と効率との両方が良好

に発揮される。

請求項 2 に係る直線翼型風水車は、請求項 1 記載の直線翼型風水車において、前記直線翼を前記軸心側に連結する対称翼型の支持翼を備え、該支持翼の翼弦長に対する最大翼厚の割合が 15 ～ 20 % の範囲で設定されたことを特徴とする。

上記構成により、支持翼の回転抗力を低く抑え、且つ強度を確保しつつ、風水車の自己始動性をさらに向上させることができる。

請求項 3 に係る直線翼型風水車は、軸心の周りで該軸心と平行に配置された直線翼を備える直線翼型風水車において、該直線翼の軸方向端部に翼型断面のほぼ半分の厚さの山状部が形成されたことを特徴とする。

上記構成により、風車として使用した時の回転時の翼端後方の空気の渦がなくなり、風切り音が低減ないしは完全に解消される。水車として使用した時も同様に回転時の翼端後方の水の渦がなくなり、水切り音が低減ないしは完全に解消される。

請求項 4 に係る直線翼型風水車は、請求項 3 記載の直線翼型風水車において、前記山状部の翼厚が 12 ～ 17 % 程度であることを特徴とする。

上記構成により、風切り音や水切り音が完全に解消される。

請求項 5 に係る直線翼型風水車は、請求項 3 又は 4 記載の直線翼型風水車において、請求項 1 又は 2 に記載の各要素を備えたことを特徴とする。

上記構成により、取付角 $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ と、取付位置 15 ～ 40 % と、ソリディティ $NC/R = 0.5 \sim 2.2$ と、直線翼厚 15 ～ 25 % と、支持翼厚 15 ～ 20 % と、翼端の山状部との組み合わせにより、風水車の効率（出力係数）と自己始動性の両方が満足され、且つ風切り音や水切り音が低減ないしは完全に解消される。

図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明における直線翼型風水車の一形態を示す斜視図である。

第 2 図は、直線翼の断面形状を示す第 1 図の A-A 断面図である。

第 3 図は、支持翼の断面形状を示す第 1 図の B-B 断面図である。

第 4 図は、直線翼の取付位置と取付角を示し、(a) は取付角 0、(b) は + の

取付角、(c) は一の取付角をそれぞれ示す説明図である。

第5図は、取付角と効率（出力係数）の関係を示すグラフである。

第6図は、取付位置と効率の関係を示すグラフである。

第7図は、各取付角ごとにソリディティ（ NC/R ）と効率の関係を示すグラフである。

第8図は、他の直線翼を用いた場合のソリディティと効率の関係を示すグラフである。

第9図は、各ソリディティごとに周速比と効率の関係を示すグラフである。

第10図は、第9図に基づき各周速比ごとにソリディティと効率の関係を示すグラフである。

第11図の(a) は直線翼の翼端の山状部を示す上面図、(b) は同じく前面図、(c) は同じく側面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態を図面等に基づいて詳細に説明する。

第1図は本発明における垂直軸式の直線翼型風水車の一形態を示すものである。

この直線翼型風水車1は、垂直な軸部2と、軸部2の周囲で軸部2と平行に配置された複数枚（本形態で三枚）の主翼である直線翼（ブレード）3と、各直線翼3を軸部2に連結する水平な支持翼4とで構成されている。

直線翼3のA-A断面を第2図（ハッチングは省略する）に示す如く、直線翼3は非対称の二次元翼型を呈し、そのミーンライン9は直線翼3の前縁7から下向き（第2図で向かって下向きであり、第1図では軸方向内側に相当する）に湾曲して、最大翼厚中心10で翼弦線11に一致し、さらに後縁8にかけて上向きに湾曲している。第2図で向かって下側に支持翼4が設けられる。この形状により、風や水流の方向（風水向）によって直線翼3の取付角を変えることなく、風水車の効率（出力係数）を高めることができる。直線翼3の形状については本出願人が特公昭56-42751号で提案済である。

また、支持翼4のB-B断面を第3図(a)に示す如く、支持翼4は対称翼であり、前縁12から後縁13にかけてミーンライン15と翼弦線15とが一致し

ている。支持翼 4 に対称翼を使うことで、第 1 図において前縁 1 2 で風や水流を受けた際の抵抗が低減され、後縁 1 3 で風や水流を受けた際の抵抗が増大して風水車 1 を回す力が発揮される。

支持翼 4 の断面形状として第 2 図と同じ様な非対称の翼型を採用する場合には、第 1 図で上側の支持翼 4 を第 2 図と同じ様な断面形状とし、第 1 図で下側の支持翼 4 は、第 2 図の断面形状を上下線対称とした断面形状（上下反転させた形状）のものを使用する。

これにより、上側の支持翼で生じる揚力が、下側の支持翼に作用する下向きの力で打ち消され、スムーズな回転が得られると共に、軸部 2 の軸受（図示せず）にかかるスラスト力が低減され、ベアリング（図示せず）の寿命が向上する。

上記直線翼 3 と支持翼 4 とはグラスファイバやカーボンファイバといった軽量で且つ高強度な材料で一体に形成されることが好ましい。これにより、風水車 1 は、風車としてのみならず、水車としても使用することができる。翼の剛性が高いから、強い水流にも耐えられ、一体型であるから、継ぎ目に孔等がなく、翼内部に水が浸入する心配がない。また、各翼部の軽量化により始動性及び効率（出力係数）が向上する。

軸部 2 は金属製の中空なアウトロータであることが好ましく、例えばアウトロータ（2）の端部に発電機（図示せず）の回転軸が固定される。アウトロータの使用で軸部 2 が軽量化され、始動・起動性が向上する。なお、例えば風向きや水流の向きが一定の場所で使用し、取付角を可変とする必要がない場合は、直線翼 3 に対称翼（断面对称翼型）を使用することも可能である。また、直線翼 3 の上下に円板状等のプレート（図示せず）を配置し、プレート中心を支持することで、軸部 2 を廃止することも可能である。

上記直線翼型風水車 1 の効率（出力係数）は、支持翼 4 に対する直線翼 3 の取付角や、軸部 2 の中心に対する直線翼 3 の取付位置、風水車 1 のソリディティ（回転面積比）等によって変動する。また、風水車 1 の自己始動性は、ソリディティ（回転面積比）や直線翼 3・支持翼 4 の翼厚等によって変動する。

ここで、取付位置とは、第 4 図（a）に示す如く、軸部 2 の中心 2 0 から直線翼 3 の翼弦線 1 1 に向けて直角に径方向の仮想線 2 2 を引いた際に、直線翼 3 の

前縁 7 から径方向の仮想線 2 2 と翼弦線 1 1 との交点 2 1 までの距離 X を翼弦長 C に対する割合 (%) で示した数値である。また、取付角とは、第 4 図 (b), (c) に示す如く、第 4 図 (a) の翼弦線 1 1 に相当する真直線 1 8 に対して直線翼 3 を回転方向外側又は内側に傾けた際に、翼弦線 1 1 と真直線 1 8 とのなす角度 α ($^{\circ}$) を言う。第 4 図 (b) は $+\alpha$ の取付角、第 4 図 (c) は $-\alpha$ の取付角、第 4 図 (a) は取付角 0° を示している。

また、ソリディティは、風水車の半径を R (m)、直線翼の枚数を N (枚)、直線翼の翼弦長を C (m) とした場合、 NC/R で表される。半径 R は第 4 図 (a) で軸中心 2 0 から翼弦線 1 1 と仮想線 2 2 との交点 2 1 までの距離である。また、翼厚とは、翼弦長に対する最大翼厚の割合を % で示したものである。効率 (出力係数) は、風又は水のエネルギーを 1 とした時に風水車のなす仕事 (トルク \times 回転速度) の割合を少数点の数字で示したものである。

本発明は、これら取付角や取付位置、ソリディティ、翼厚といった要素の最適値及び有効使用範囲を見い出して、高い自己始動性と十分な効率 (出力係数) を発揮し得る直線翼型風水車を提供することを目的としている。以下にこれら要素についての調査・検討結果を説明する。

先ず、取付角と効率 (出力係数) に関する調査結果を第 5 図のグラフに示す。

第 5 図で縦軸に効率、横軸に取付角 ($^{\circ}$) を示し、ソリディティ (NC/R) を 0.18 ~ 4.0 まで五段階 (0.18, 1.08, 2.0, 3.0, 4.0) に示している。

第 5 図より明らかな如く、風水車の効率は取付角によって大きく変動し、ソリディティが 0.18 ~ 4.0 と極めて大きな範囲において、取付角は $\pm 4^{\circ}$ 又は最大でも $\pm 5^{\circ}$ 以内の範囲でのみ有効となっている。取付角が $\pm 4^{\circ}$ 又は最大でも $\pm 5^{\circ}$ の範囲を越えると、風水車の効率はほぼゼロになり、全く使用できなくなる。第 5 図において良好な効率 (例えば 0.1 以上の効率) を得るためには、 $\pm 2^{\circ}$ 以内又は少なくとも $\pm 3^{\circ}$ 以内に取付角を抑えるべきである。 $\pm 2^{\circ}$ 以内に抑えることで、少なくとも最大効率 (第 5 図で 0.25) の半分程度以上の効率 (出力係数) を発揮させることができる。最大でも $\pm 5^{\circ}$ 以内とする必要がある。最適値 (範囲) は $\pm 1^{\circ}$ と言える。

第5図の如く、ソリディティ0.18のものは取付角 $+1^\circ$ で効率が最大となっている。他のソリディティ1.08~4.0の範囲のものは、取付角 0° と $+1^\circ$ とではほぼ同じ最大効率となっている。 -1° よりも $+1^\circ$ の方が効率が少し高く、 -2° よりも $+2^\circ$ の方が効率が高く、 -3° よりも $+3^\circ$ のほう効率がかなり高くなっている。このように、全体的に一侧の取付角よりも+側の取付角の方が効率が高くなっている。第5図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

次いで、第6図に取付位置と効率（出力係数）に関する調査結果を示す。

第6図で縦軸に効率、横軸に取付位置（%）を示している。ソリディティ（ $N/C/R$ ）は0.18のみ代表で示している。一例として風水車の半径 R は1.25 m、直線翼の翼弦長 C は0.3 mである。

第6図より明らかな如く、取付位置が25%において効率（出力係数）が最大（0.235）となっている。取付位置が0~50%の範囲で効率（出力係数）は0.118~0.079と比較的安定した数値を示している。

取付位置0%とは、第4図（a）で軸部から延びる径方向の線（すなわち支持翼）が直線翼の前縁に接する如く交差する位置であり、取付位置50%とは同じく径方向の線が翼弦線の中央に交差する位置である。

第6図より、取付位置の最適値は25%である。すなわち第4図（a）で軸部から延びる径方向の線が直線翼の前縁から翼弦長の $1/4$ の位置に交差する位置である。

また、第6図において取付位置の範囲は0~50%とかなり広いが、取付位置0とその近傍においては風水車回転時の直線翼の頭下げモーメント（直線翼の前縁部が軸部に向かう内向きの力）が作用しなくなり、自己始動性が悪化することを考慮すれば、取付位置15%以上とすべきであり、効率0.1以上を得るためには50%ではなく40%以内とすべきである。従って、有効な取付位置は15~40%の範囲に抑えるべきである。第6図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

第7図は、第5図のグラフをソリディティと効率の関係に書き変えたものである。

第7図で横軸にソリディティ (NC/R)、縦軸に効率 (出力係数) を示している。取付角は 0° , $+1^\circ$, $+2^\circ$, $+3^\circ$, -1° , -2° , -3° の七水準である。

第7図から明らかな如く、ソリディティが大きくなるに従って効率は低下する (この点は従来より公知である)。取付角が 0° と $+1^\circ$ とでは効率はほぼ同じ値を示している。取付角が $+2^\circ$ と -1° とで効率は近似し、 $+3^\circ$ と -2° とで比較的効率は近似し、 -3° になると効率は大きく (0.1以下に) 落ち込んでいる。第7図からすれば、取付角は $+3^\circ \sim -2^\circ$ の範囲が好適と言える。取付角が $+3^\circ \sim -2^\circ$ の範囲であれば、ソリディティは 0.18 ~ 4.0 の範囲で良好な効率を発揮する。

但し、ソリディティが3や4であることは現実には殆どないことである。すなわち、ソリディティが3ということは、例えば半径 0.3 m の風車で直線翼3の翼弦長が 0.3 m、直線翼3の枚数が3枚の条件のことであり、実施の可能性は極めて少ないと言える。ソリディティが大きくなるに従って風車内 (直線翼3の内側空間内) に風又は水が進入しにくくなり、風車内の流速が低下し、回転数やトルクが低下する。従って、第7図において各線のカーブが比較的なだらかなになるソリディティ2程度が実使用範囲の上限と言える。取付角 -3° の場合をも含めて考えた場合には、ソリディティの上限値は1ないし $1 + \alpha$ (α は 0.2程度) が妥当とも言える。

ソリディティが高い程、始動性は向上するから (この点は公知である)、自己始動性を考慮した場合、ソリディティの下限値は 0.18 よりも大きくすべきである。下限値は 0.18 よりも大きく1よりも小さく、0.6程度にすべきと考える。ソリディティの検討結果については後述する。第7図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

上記第5図～第7図の根拠 (生データ) の一部を参考までに表1に示す。

表 1

取付位置%	取付角 d e g	効率	効率ピーク時の周速比 β (参考)
0	3.43	0.118	2.6
10	2.06	0.203	↑

2 0	0 . 6 9	0 . 2 3 3	↑
2 5	0	0 . 2 3 5	↑
3 0	- 0 . 6 9	0 . 2 2 7	↑
4 0	- 2 . 0 6	0 . 1 7 1	↑
5 0	- 3 . 4 3	0 . 0 7 9	↑

表 1 で周速比とは、風速又は水速に対する直線翼の先端の回転速度の割合であり、周速比 2 . 6 とは、風速又は水速の 2 . 6 倍の速度で回転することを意味する。周速比によっても効率は大きく変動する。周速比については後述する。

第 8 図は、ソリディティと効率（出力係数）の関係をソリディティが 0 . 1 以下の極小域から 3 . 5 までの範囲で示したものである。直線翼としては翼厚 1 2 % の比較的薄い対称翼（NACA 0012）を用いた場合を想定している。

第 8 図より明らかな如く、ソリディティが 0 . 1 における効率は 0 . 1 以上となっており、ソリディティが 0 . 1 から 0 . 3 5 にかけて効率曲線は鋭く立ち上がり、ソリディティが 0 . 3 5 付近で効率はピークとなり、ソリディティが 0 . 3 5 から 0 . 6 5 にかけて効率は急勾配で低下し、ソリディティが 0 . 6 5 から 2 . 2 にかけて効率はなだらかに低下し、ソリディティが 2 . 2 の近傍で効率はほぼ一定となり、ソリディティが 2 . 4 以上では効率はさらに低下する。

第 8 図の結果より、性能（効率）を重視する場合は、ソリディティを 0 . 1 ～ 0 . 6 5 の範囲で設定する必要がある、始動性を重視する場合は、効率はある程度犠牲となるが、ソリディティを 0 . 6 5 ～ 2 . 2 の範囲で設定する必要があると言える。

なお、効率の最大値 $C_{p_{max}}$ はレイノルズ数 Re と翼型（翼断面型）とにより変動する。 $C_{p_{max}}$ の変動幅は 0 . 2 ～ 0 . 4 8 程度である。第 8 図におけるレイノルズ数は 1.33×10^5 である。また、効率は直線翼の周速比によっても変動する。第 8 図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

第 9 図は、ソリディティを 0 . 3 6, 0 . 6, 1 . 2, 1 . 4, 1 . 6, 1 . 8, 2 . 2 の七水準とした場合の周速比と効率（出力係数）の関係を示したものである。

第 9 図より明らかな如く、周速比すなわち風速や水速に対する直線翼の回転速度の割合が高くなるにつれて効率が高くなっている。また、周速比 β が低くなる

に従ってソリディティが増加し、周速比が高くなるに従ってソリディティが減少している。第9図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

第10図は、第9図からソリディティと効率の関係を求めたグラフである。

第10図で横軸にソリディティ、縦軸に効率を示している。周速比は1.9, 2.0, 2.5, 3.0の四水準をとっている。

第10図より明らかな如く、周速比 β が高い(2.5, 3.0)場合は低いソリディティの範囲で効率が最大となり、周速比が低い(1.9, 2.0)場合は高いソリディティの範囲で効率が最大となっている。

このことから、風水車を早く回転させる場合は、ソリディティが小さいことが必要であり、風水車を遅く回転させる場合は、ソリディティが大きいことが必要であることが分かる。第10図より、始動性を考慮した場合、ソリディティは0.6以上は必要であり、0.6~1.2あるいは0.6~2.2の範囲であることが必要である。ソリディティが大きく、周速比が小さいことは、風水車の安全性や耐動的強度性・疲労強度性の観点からも有効である。第10図の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

上記の直線翼型風水車の性能は例えば以下に示す特性式によって算出することができる。

$$\text{速度低減率 } a = 1/2 \{1 - \sqrt{1 - C_{fx}}\}$$

$$V_R = (1 - a) \sqrt{1 - 2\beta \sin \phi + \beta^2}$$

$$\text{抵抗係数 } C_{fx} = - (n l_B / 4\pi) \int_0^{2\pi} V_R^2 \{ (C_L \cos \phi + C_D \sin \phi) \cos \phi + (C_D \cos \phi - C_L \sin \phi) \sin \phi \} d\phi$$

$$C_{TB} = (n l_B / 4\pi) \int_0^{2\pi} V_R^2 (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi - C_M l_B) d\phi$$

$$\text{効率 } C_P = \beta \times C_{TB}$$

ここで l_B は、翼弦長 C_B を半径 R で割った値、 V_R は相対流入風速又は相対流入水速、 ϕ は風水車回転角、 ϕ は流入角、 C_L は揚力係数、 C_D は抗力係数、 C_M はモーメント係数をそれぞれ示す。

表2は、ソリディティと自己始動性及び効率の関係を実験や計算から感覚的にとらえた結果を参考までに示すものである。

表 2

NR/C	始動性	効率 C_p	効率ピーク時の周速比
0.1	×	小	大
0.2	×	中	大
0.3	×	大	3.9
0.4	×	大	3.4
0.5	△	中	3.0
0.6	△	中	2.9
0.7	△	中	2.6
0.8	△	小	2.5
1.0	○	小	2.3
1.2	○	小	2.1
1.4	○	小	2.0
1.6	○	小	小
1.8	○	小	小
2.0	○	小	小
2.2	○	小	小
2.4	○	小	小

表 2 で左欄にソリディティを示し、左から二番目の欄に自己始動性の良否を○△×（○は良、×は否、△は使用可能な範囲）で示し、左から三番目の欄に効率を大中小で示し、右欄に参考までに効率ピーク時の周速比を数値と大小で示している。

表 2 より、自己始動性と効率の双方を良好に発揮させるためには（始動性のためには効率はある程度犠牲にしても発電性能上問題にはならない）、始動性が△以上の範囲で、且つ効率が中から小にかけての範囲に設定することが好ましい。従って、表 2 からはソリディティ 0.5～0.8 の範囲が好ましいと言える。

また、周速比が低い方が安全性及び耐強度性の面から有効であることを考慮して、ソリディティの最適値は、始動性が△で効率が中で且つ周速比の低いソリディティ 0.7 程度が最適と言える。ソリディティが 0.8 以上の範囲でも、第 7 図、第 8 図の如く効率の落ち幅はさほど大きくないから、ソリディティ 2.2 程度までは使用可能である。表 2 の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

ソリディティ（風水車の半径 R と直線翼の枚数 N と翼弦長 C で決まる回転面積

比)以外にも、直線翼の翼厚(第4図(a)において測定個所をTで示す)や支持翼の翼厚によっても、始動性や効率は影響を受ける。以下に直線翼と支持翼の翼厚についての調査結果を説明する。

表3に、直線翼(主翼)の翼厚と自己始動性・効率・強度の関係を実験や計算から感覚的にとらえた結果を示す。

表 3

翼厚%	始動性	効率	強度
5	×	×	×
10	×	×	×
15	△	△	△
20	○	○	○
25	○	○	○
30	△	△	○
35	×	×	○
40	×	×	○

表3で、翼厚は翼弦長Cに対する最大翼厚の割合をパーセントで示すものである。

表3から明らかな如く、翼厚20～25%が始動性、効率、強度ともに○(良好)で、最適値と言える。使用可能範囲は△を含む範囲すなわち翼厚15～30%の範囲である。翼厚15%と30%は共に始動性△であるが、30%の方がやや始動性が良好である。

翼厚が35～40%と厚くなるに従って直線翼の剛性は増すが、翼の重量が増加する分、回転中の慣性力が増して機械的強度が低下する懸念がある(翼厚30%時の強度を△、35～40%時の強度を×と表示しても一概に間違いとは言えない)。従って、直線翼はグラスファイバやカーボンファイバといった軽量で高強度な繊維材で形成されることが必要である。繊維材の板厚は約2mm程度である。

風水車の回転中に直線翼には、抗力方向(X方向)の仮想軸を中心とした横揺モーメントと、横力方向(Y方向すなわち直線翼の長手方向)の仮想軸を中心とした縦揺モーメントと、揚力方向(Z方向)の仮想軸を中心とした偏揺モーメントが作用する。従って、強度の設定は重要である。表3の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

表 4 に、支持翼（対称翼）の翼厚と自己始動性・回転抗力（効率を低下させる要因）・強度の関係を実験や計算から感覚的にとらえた結果を示す。

表 4

支持翼厚%	始動性	回転抗力	強度
5	×	小	×
10	×	小	×
15	△	中	△
20	△	中	△
25	○	大	○
30	○	大	○
35	○	大	○
40	○	大	○
45	○	大	○

表 4 の支持翼は第 3 図で示した形態の上下対称な翼型のものである。回転抗力は風向きや水流の向きと同方向に作用する空気抵抗や水抵抗すなわち流体抵抗であり、小さいほうが効率は高まるが自己始動性は低下する。支持翼にも直線翼と同様に三方向のモーメントが作用する。

表 4 から、風水車の始動性を考慮した場合、支持翼厚は始動性△以上の範囲である 15% 以上が有効である。始動性に加えて回転抗力を考慮した場合、回転抗力が中程度の範囲である翼厚 15～20% の範囲が最適と言える。強度的にみれば翼厚 15～20% の範囲は強度が△（中程度）であり、例えば直線翼を上下二本の支持翼で支えるようにする等により、何ら問題なく使用することができる。

始動性を向上させるには、回転抗力が大で且つ効率は多少犠牲になるが、翼厚 40% 程度までは使用可能である。直線翼に較べて翼厚の大きな範囲で強度が高いのは、翼断面形状の違いと、支持翼に作用する重力方向の力に適合する形状であるためと考える。翼厚 5～10% は始動性及び強度的には不利だが回転抗力は小さい。翼厚 5～10% のものは翼本数を増やす等で強度を上げるにより使用可能である。表 4 の傾向は風車の場合でも水車の場合でも同じである。

以上述べたことを総括すると、第 5 図～第 10 図及び表 1～表 2 より、ソリディティすなわち NC/R は、自己始動性を得るために 0.5 以上に設定することが好ましく、その最適使用範囲は 0.65～1.2 であり、許容使用範囲は 0.

5～2.2である。無論、始動性を無視し（始動装置を用いる場合）、性能（効率）のみを重視する場合は、ソリディティ0.1～0.5の範囲も使用可能である。

また、直線翼の取付角については、第5図より取付角の最適範囲は $\pm 1^\circ$ ないし $\pm 2^\circ$ 以内であり、使用可能範囲は $\pm 5^\circ$ 以内である。 $\pm 5^\circ$ 以上では使用不能である。第5図の結果はソリディティも加味したものであり、各ソリディティごとに共通して上記の最適及び使用範囲が適用される。

また、直線翼の取付位置に関しては、第6図より、前縁から25%の位置が最適であり、自己始動性（直線翼の頭下げモーメントがあること）を考慮した使用可能範囲は15～40%と言える。第6図の結果も各ソリディティごとに共通して適用されるものである。

また、表3から、直線翼の翼厚は、始動性と効率と強度を考慮して20～25%が最適範囲で、15～30%が好ましい許容範囲である。

また、表4から、支持翼（対称翼）の翼厚は、始動性と抗力と強度を考慮して15～20%が最適範囲である。

これら取付角、取付位置、ソリディティ、翼厚といった要素は単独で設定されてもよいが、各要素を二つ又は三つ又は四つ又は五つと組み合わせることによって、効果が助長される。

組み合わせ方は、例えば取付角 $\pm 5^\circ$ 以内又は $\pm 2^\circ$ 以内と取付位置25%又は15～40%の組み合わせや、取付角 $\pm 5^\circ$ 以内又は $\pm 2^\circ$ 以内とソリディティ0.5～2.2又は0.65～1.2の組み合わせ、取付角 $\pm 5^\circ$ 以内又は $\pm 2^\circ$ 以内と直線翼厚15～30%の組み合わせ、取付角 $\pm 5^\circ$ 以内又は $\pm 2^\circ$ 以内と支持翼厚15～20%の組み合わせ等、五つの要素による計10通りの組み合わせ方に加えて、取付角と取付位置とソリディティとの三要素を組み合わせたものや、取付角と取付位置とソリディティと翼厚との四～五要素を組み合わせたものがある。

特に、取付角 $\pm 2^\circ$ 以内とソリディティ0.65～1.2の組み合わせや、取付角 25° とソリディティ0.65～1.2の組み合わせ、ソリディティ0.65～1.2と直線翼厚15～30%の組み合わせ、ソリディティ0.65～1.

2と直線翼厚15～30%と支持翼厚15～20%の組み合わせ等によって、効率と自己始動性の両方を満足させることができる。

なお、上記支持翼4を廃止して円板状の薄肉のプレート等で代用したり、強度的に十分であれば上下二本ではなく中央に一本とすることも可能である。また、上記直線翼型風水車1の軸部2を上下の短円柱状のボス部（図示せず）で代用することも可能である。また、上記直線翼型風水車1の軸心を水平にして例えば高いビルの上層部の側壁に配置することも可能である。また、上記水風車を水車として使用する場合は、風車におけると同様に軸心を垂直にした状態で各直線翼3を端部側から水中に進入させる。水中への直線翼3の進入長さは発電量や水流等に応じて適宜変更するようにしてもよい。上記直線翼型風水車1は発電のみならず、加熱用の熱変換機や揚水用等のエネルギー変換機としても使用可能である。また、本発明は直線翼型風水車の製造方法としても有効である。

第11図(a)～(c)は、上記直線翼型風水車1における回転音対策として、直線翼（主翼）3の長手方向（軸方向）の上下両端部（第11図では上端部のみ図示する）に翼型の山状部（翼型断面のほぼ半分の厚さの山状部）41を形成した構造を示すものである。

第11図(a)は直線翼3の上面図（第2図を縮小したもの）、第11図(b)は同じく前面図（回転方向を前側とした）、第11図(c)は同じく側面図をそれぞれ示しており、翼型の山状部41は、第11図(c)の側面図の如く翼断面形状（第11図(a)は翼断面形状と同じである）を翼弦線11（第2図）に沿ってほぼ1/2に切断した形状となっており、第11図(b)の如く前面視が左右ほぼ対称の山型となっている。すなわち、直線翼（符号3の直線翼とは限らない）の翼型断面を翼厚方向に半分に切断し、その断面形状を山状部41の縦断面とし、この縦断面の頂部42と直線翼3の表裏面（側面）43とを滑らかに湾曲状に結んでいる。

山状部41の峰（頂部）42は第11図(a)の前端からほぼ中央にかけて第11図(b)の如く板厚方向に比較的滑らかに湾曲状に形成され、第11図(a)中央付近から後端にかけて山状部41の幅が狭くなるにつれて稜線部が序々に細くなっている。山状部41の前端44及び後端45は滑らかに直線翼3の前端7

及び後端 8 に続いている。翼型の山状部 4 1 は前記繊維材で直線翼 3 と一体に形成されることが好ましい。

山状部 4 1 の翼厚すなわち翼弦長に対する最大高さ（最大翼厚） H の割合は、直線翼 3 の翼厚によってもある程度規制されるが、 $(24 \sim 34\%) / 2$ 程度すなわち $12 \sim 17\%$ 程度であることが好ましい。ここで $24 \sim 34\%$ は山状部 4 1 とする前の翼型断面の翼厚であり、2 で除したのは、翼型断面をほぼ対称とみなしたからである（対称翼断面とすれば正確に $1/2$ である）。これらの最適範囲は実験等に基づくものである。

山状部 4 1 の翼厚を $12 \sim 17\%$ 程度に設定することで、特に風車の場合の回転時の風切り音は完全になくなる。これは翼型の山状部 4 1 によって翼端後方の空気の渦の発生がなくなるからである。水車として使用した場合にも同様に翼端後方の水の渦の発生がなくなり、水切り音がなくなる。翼厚 $12 \sim 17\%$ 以外でも翼型の山状部 4 1 を形成することで、風切り音や水切り音が小さくなり、実用上極めて有効である。

なお、翼型の山状部 4 1 にかえて直線翼 3 の両端にサイドプレート（図示せず）を設けることも可能である。サイドプレートは支持翼 4 に代わって複数の直線翼 3 を連結する円板状のものであることが好ましいが、形状は適宜設定可能である。

音対策の翼型の山状部 4 1 や上記プレートは単独でも、あるいは前記した第 5 図の取付角や第 6 図の取付位置、第 7 図～第 10 図や表 2 のソリディティ、表 3 の直線翼 3 の翼厚、表 4 の支持翼 4 の翼厚といった各要素との組み合わせによっても有用なものである。

産業上の利用可能性

以上の如く、請求項 1 記載の発明によれば、直線翼の取付角を $+3^\circ \sim -2^\circ$ としたことで、少なくとも最大効率の半分程度以上の効率（出力係数）が発揮され、また、取付位置を $15 \sim 40\%$ としたことで、直線翼の頭下げモーメントにより、自己始動性が確保され、また、 NC/R （ソリディティ） 0.5 以上で良好な自己始動性が発揮され、ソリディティ 2.2 を越えると効率（出力係数）が低下するから、 NC/R $0.5 \sim 2.2$ の範囲で始動性と効率との両方が確保さ

れ、また、直線翼の翼厚を15～25%としたことで、風水車の自己始動性が向上し、且つ効率もアップし、これらの相乗効果で、効率と始動性との両方を兼ねた風水車を提供することができる。

請求項2記載の発明によれば、支持翼の回転抗力を低く抑え、且つ強度を確保しつつ、自己始動性を向上させることができるから、一層効率と始動性を兼ねた風水車を提供することができる。

請求項3, 4記載の発明によれば、回転時の風切り音や水切り音が低減ないしは完全に解消され、静粛な風水車によって環境に及ぼす音の被害が防止される。

請求項5記載の発明によれば、取付角 $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ と、取付位置15～40%と、ソリディティ $NC/R=0.5 \sim 2.2$ と、直線翼厚15～25%と、支持翼厚15～20%と、翼端の山状部との組み合わせにより、効率（出力係数）と自己始動性と騒音対策の全てを十分に満足させた風水車を提供することができる。

請 求 の 範 囲

1. 軸心の周りで該軸心と平行に配置された二次元翼型の直線翼を備える直線翼型風水車において、

該軸心から該直線翼の翼弦線に仮想線を直交させ、この交点を中心として該直線翼を回転させた角度を取付角とした時、該取付角が $+3^{\circ} \sim -2^{\circ}$ の範囲で設定され、

且つ、該軸心から該直線翼の翼弦線に仮想線を直交させ、翼弦長に対する該直線翼の前縁からこの交点までの距離の割合を取付位置とした時、該取付位置が15～40%の範囲で設定され、

且つ、該軸心から該直線翼までの距離を半径R、該直線翼の翼弦長をC、該直線翼の枚数をNとした時、 NC/R が0.5～2.2の範囲で設定され、

且つ、該直線翼の翼弦長に対する最大翼厚の割合が15～25%の範囲で設定されたことを特徴とする直線翼型風水車。

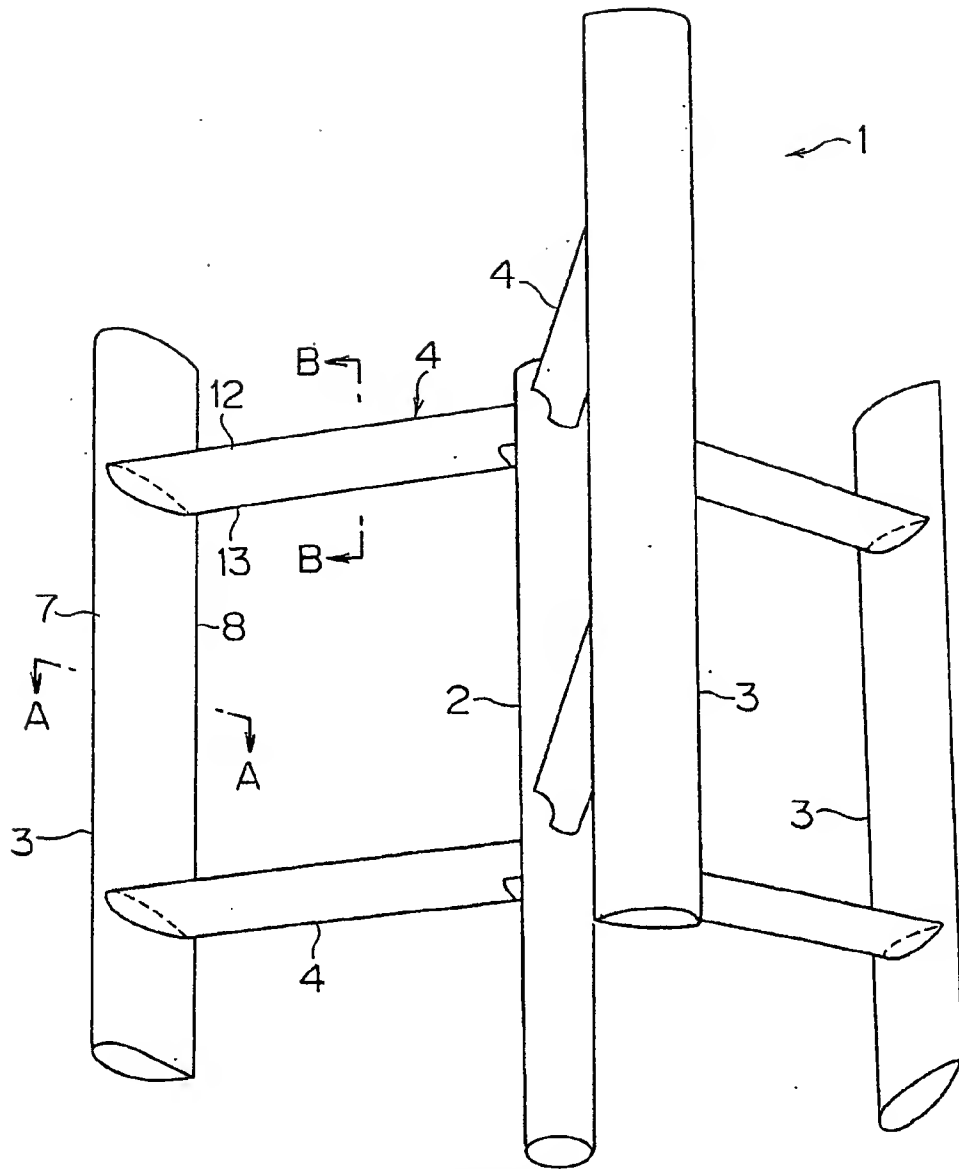
2. 前記直線翼を前記軸心側に連結する対称翼型の支持翼を備え、該支持翼の翼弦長に対する最大翼厚の割合が15～20%の範囲で設定されたことを特徴とする請求項1記載の直線翼型風水車。

3. 軸心の周りで該軸心と平行に配置された直線翼を備える直線翼型風水車において、該直線翼の軸方向端部に翼型断面のほぼ半分の厚さの山状部が形成されたことを特徴とする直線翼型風水車。

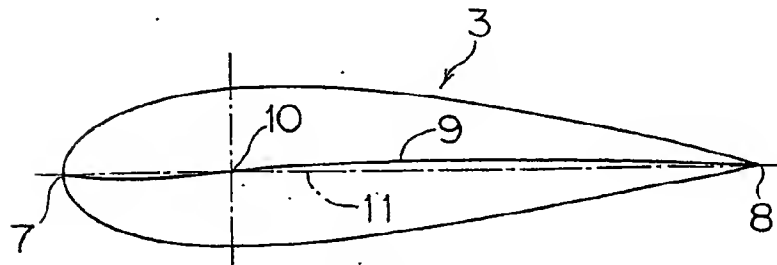
4. 前記山状部の翼厚が12～17%程度であることを特徴とする請求項3記載の直線翼型風水車。

5. 請求項1又は2に記載の各要素を備えたことを特徴とする請求項3又は4記載の直線翼型風水車。

1/7

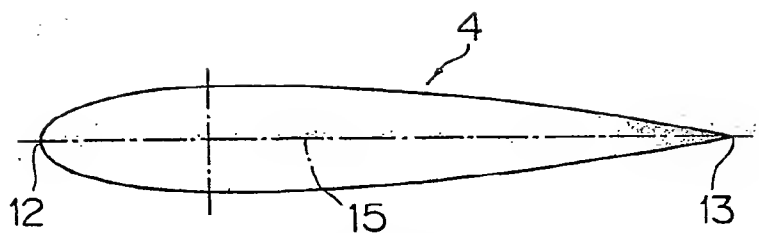


第1図

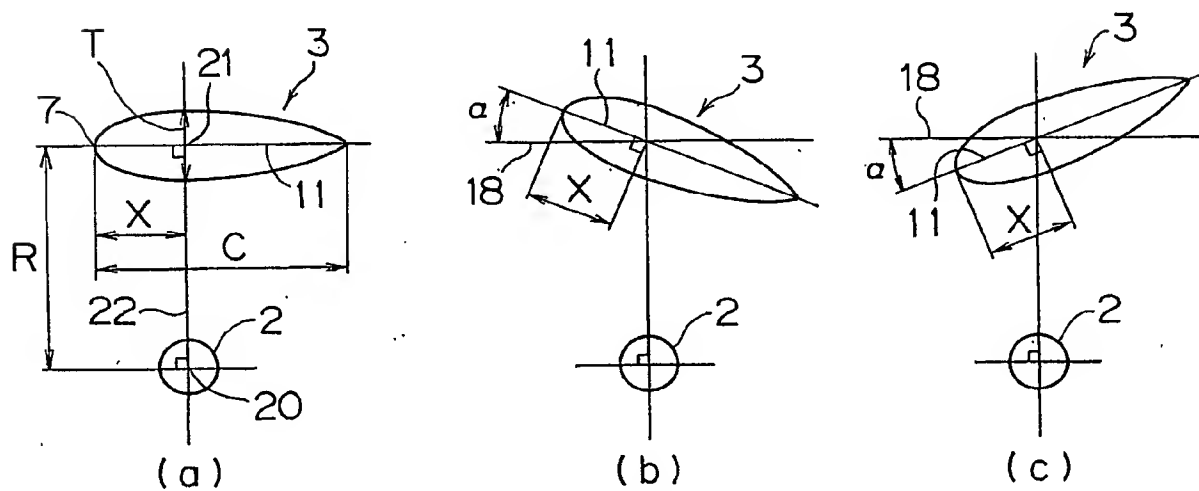


第2図

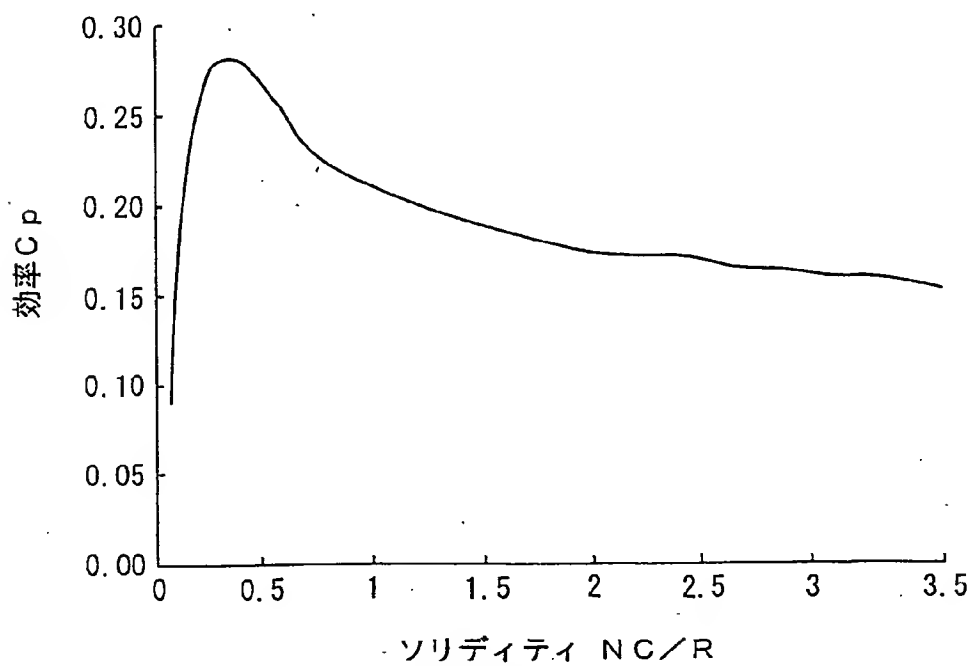
2/7



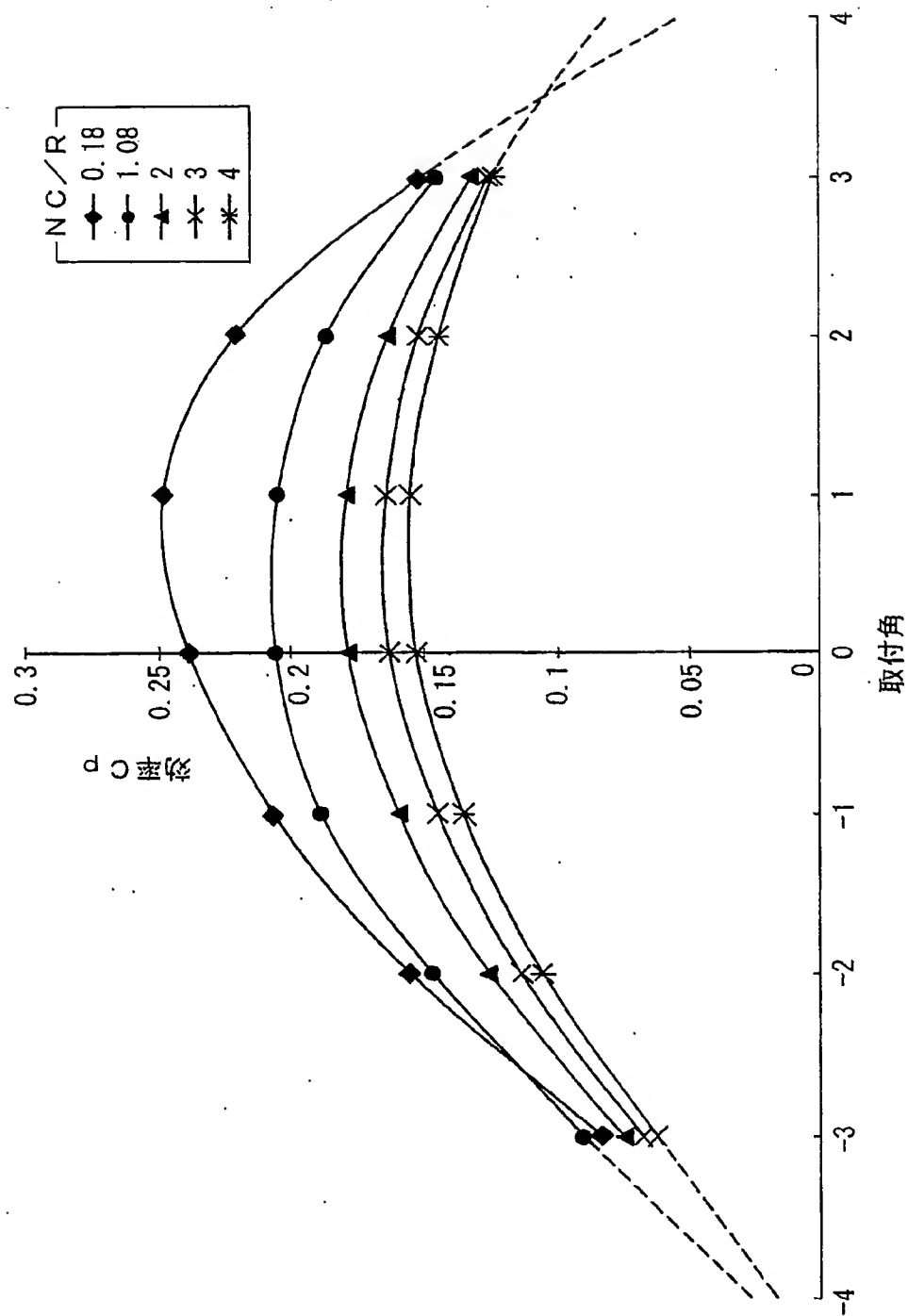
第3図



第4図

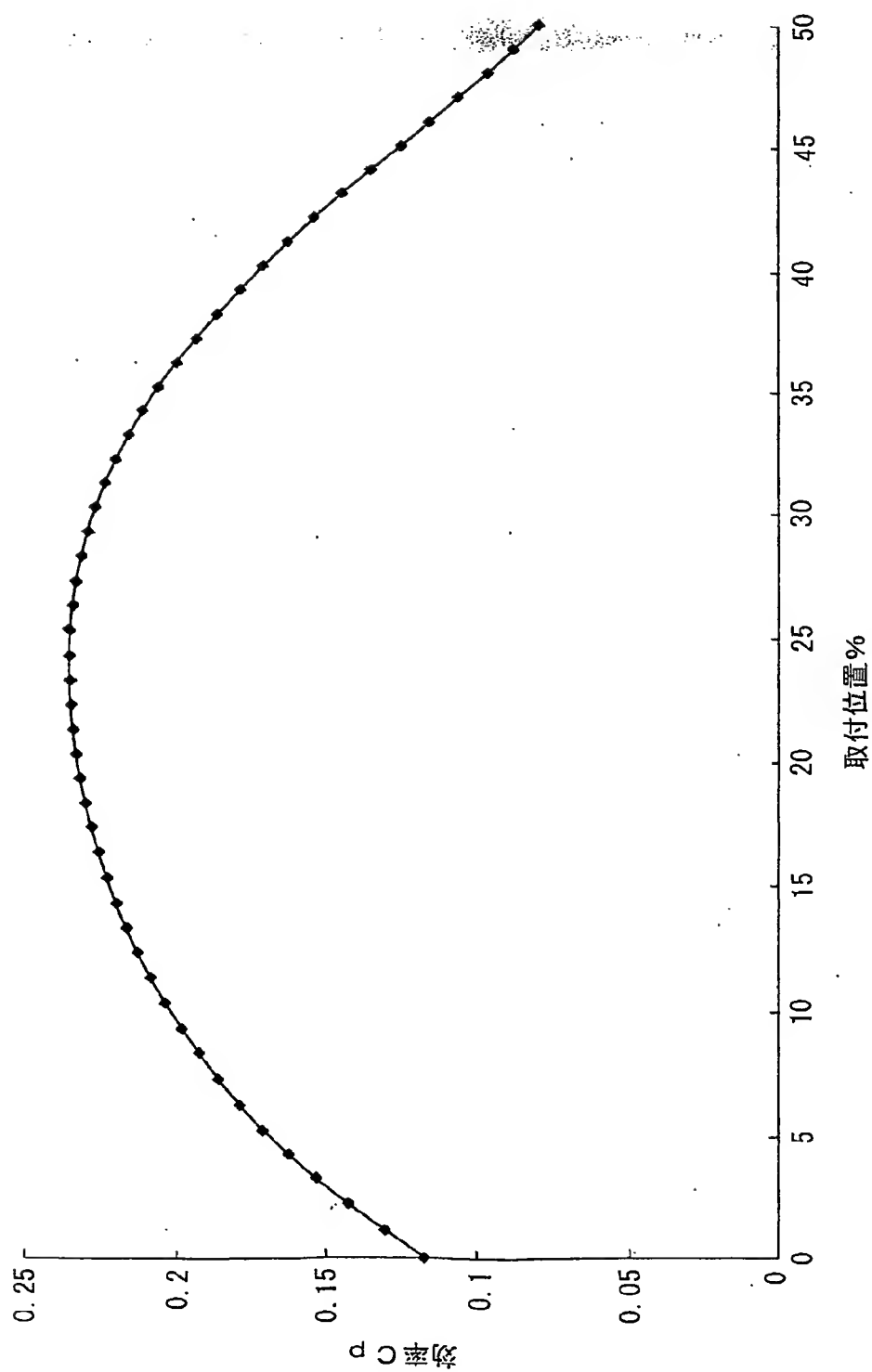


第8図



第5図

4/7

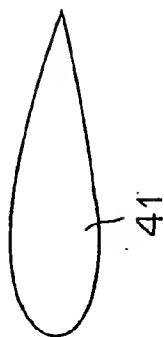


取付位置 %

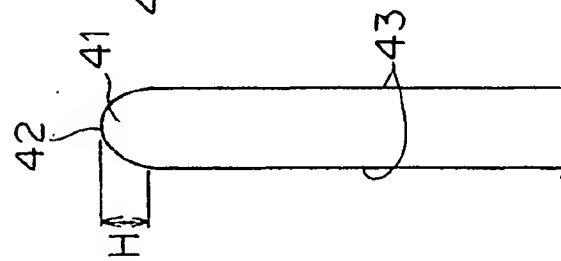
第6図

5/7

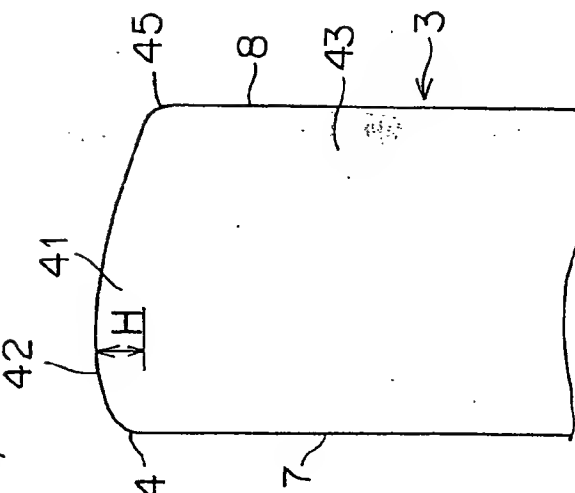
(a)



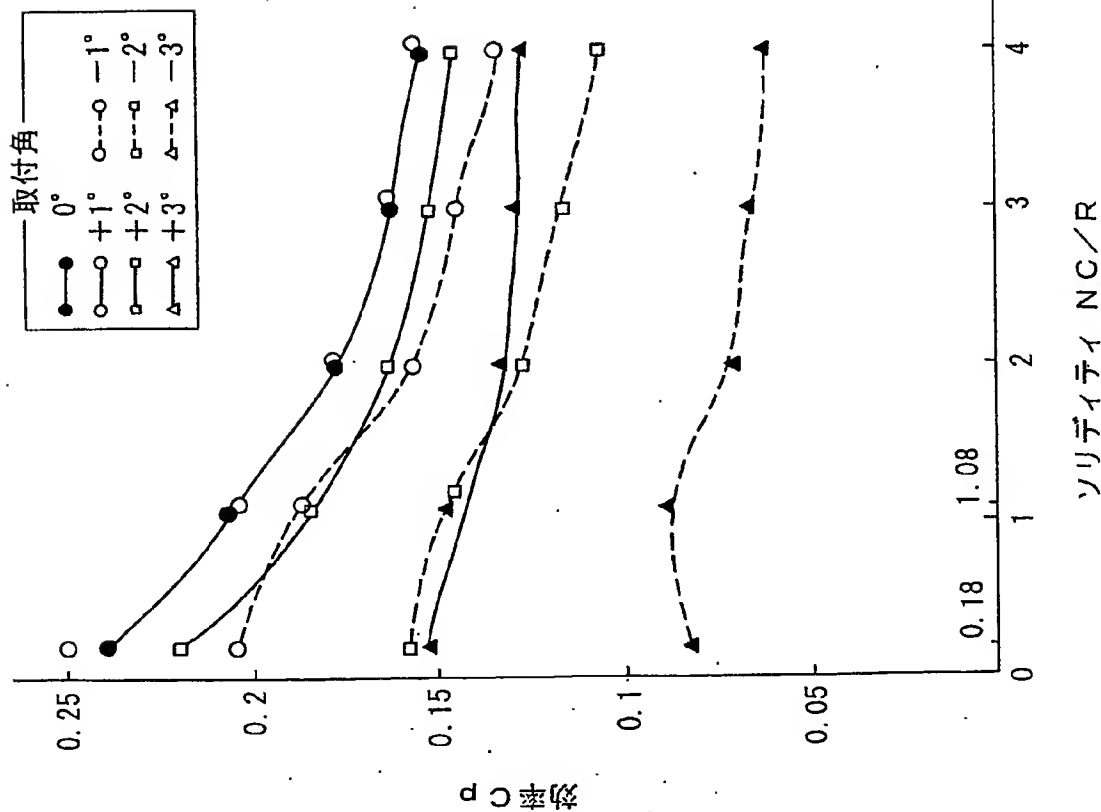
(b)



(c)

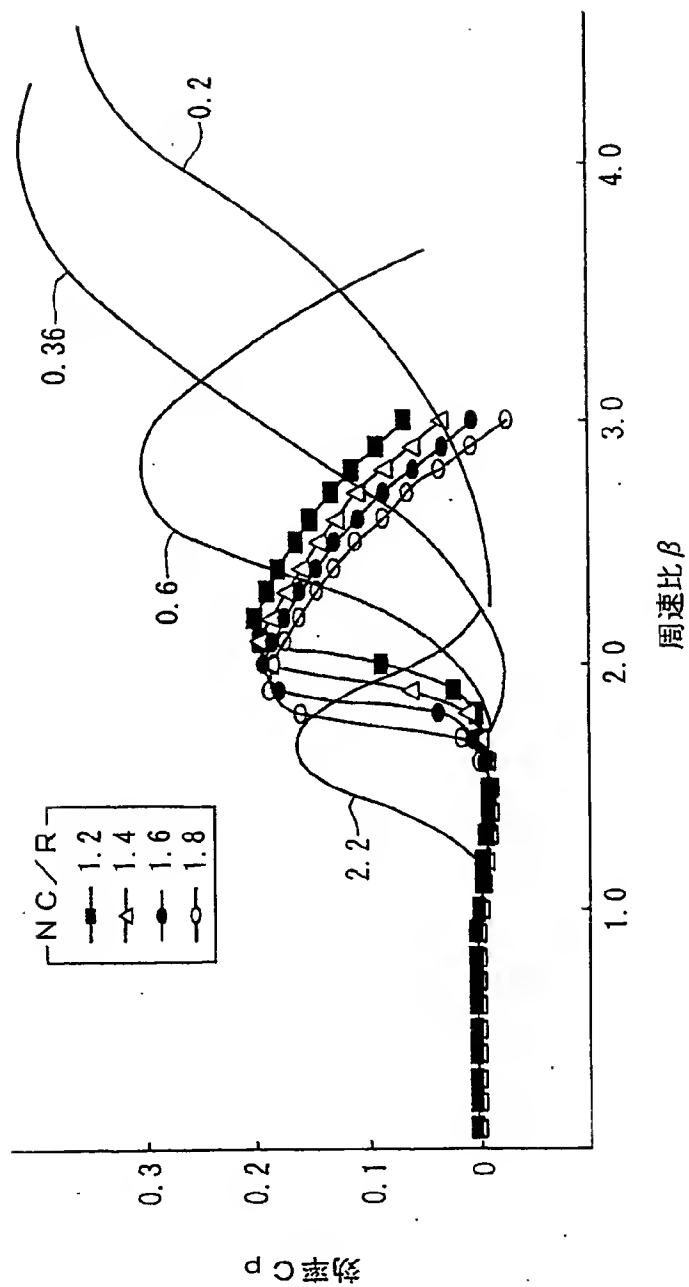


第11図



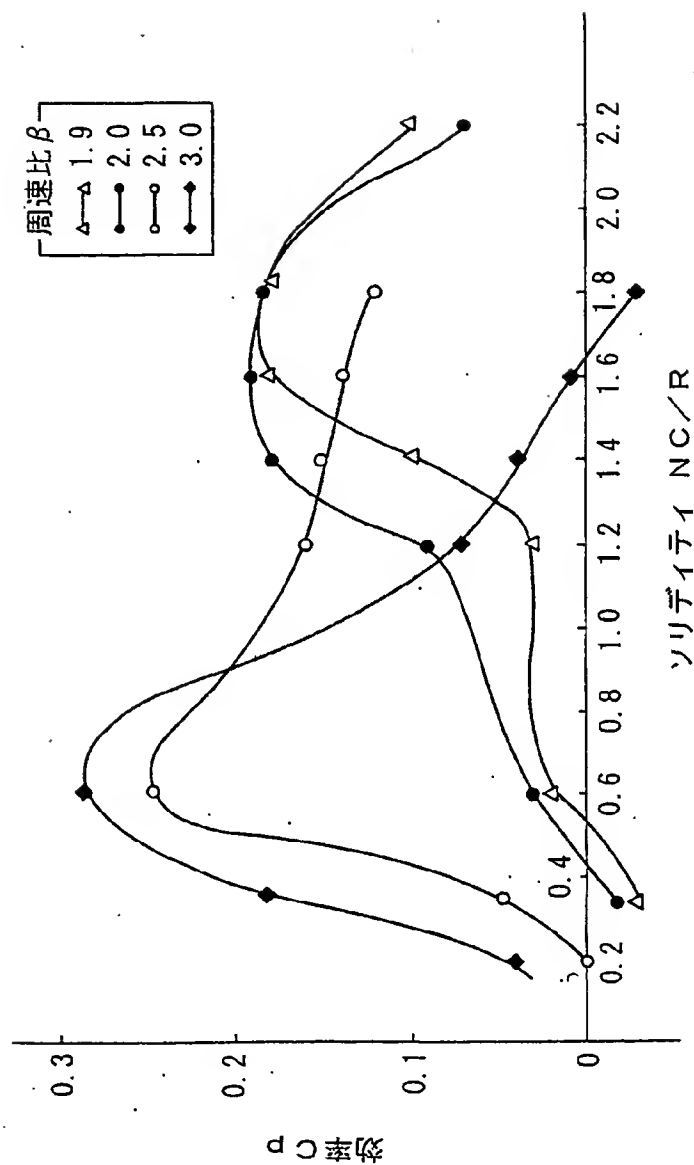
第7図

6/7



第9図

7/7



第10図

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/11655A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ F03D3/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ F03D3/06, F03D3/00, F03D11/00Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2001-193629 A (Kabushiki Kaisha Tortoise), 17 July, 2001 (17.07.01), Par. Nos. [0020] to [0031]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-2 3-5
Y A	US 4435124 A (Yea K. Zheng), 06 May, 1984 (06.05.84), Full text; Figs. 1 to 4 & EP 46370 A1 & GB 2082260 A & JP 57-70962 A	1-2 3-5
Y	Mitsuo MAKINO, "Koku Kogaku no Kiso", Sangyo Tosho Kabushiki Kaisha, 25 June, 1984 (25.06.84), pages 95, 109	1-2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
03 February, 2003 (03.02.03)Date of mailing of the international search report
18 February, 2003 (18.02.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/11655

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4285636 A (Yoshio Kato et al.), 25 August, 1981 (25.08.81), Full text; Figs. 1 to 8 & GB 1593329 A & NL 184173 B & JP 56-42751 B2	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F03D3/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F03D3/06 , F03D3/00 , F03D11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-193629 A (株式会社トータス)	1-2
A	2001.07.17, 【0020】-【0031】段落, 第1-2図 (ファミリーなし)	3-5
Y	US 4435124 A (Yea K. Zheng)	1-2
A	1984.05.06, 全文, 第1-4図 & EP 46370 A1 & GB 2082260 A & JP 57-70962 A	3-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03.02.03

国際調査報告の発送日

18.02.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA / JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

刈間 宏信

3T 8816

電話番号 03-3581-1101 内線 6268

C. (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	牧野光雄, 航空工学の基礎, 産業図書株式会社, 1984. 06. 25, p. 95及びp. 109	1-2
A	US 4285636 A (Yoshio Kato 他2名) 1981. 08. 25, 全文, 第1-8図 & GB 1593329 A & NL 184173 B & JP 56-42751 B2	1-5